

テキサス大学オースティン校（アメリカ合衆国） 研修報告書

気候変動が多種多様な地域の土砂の生産や流出に与える影響

先進理工系科学研究科 社会基盤環境工学プログラム 木戸理歩

1. はじめに

本報告では 2024 年 8 月 20 日から 9 月 22 日までの間、テキサス大学オースティン校において実施した分析について報告する。

2. 共同研究課題の決定

気候変動の進行によって、極端な高温、大雨、干ばつ、熱帯低気圧の増加や海氷、積雪、永久凍土の縮小が予測される。寒冷地における土砂生産要因の一つである凍結融解には、気温の上昇や積雪の縮小が影響を及ぼす。凍結融解とは、風化基岩の間隙に存在する水分が凍結し、岩石の構造が破壊されて土砂化する現象であり、毎年恒常的に河道へ土砂を供給する。積雪があると、その断熱効果によって凍結が抑制されることが分かっており、気候変動が凍結融解に及ぼす影響を明らかにするためには、気温と積雪の両方を考慮するべきである。

本研究では大量アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いて、凍結融解による土砂生産量の変化を予測するため、気温、日射量、積雪量などの d4PDF の気象データを地温の深度分布を計算するモデルに入力し、気温と積雪量が凍結融解に及ぼす影響やその変化を検討する。

3. 共同研究スケジュール

8 月 20 日 出国

8 月 22 日～9 月 19 日 テキサス大学オースティン校

9 月 20 日～9 月 22 日 帰国

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

大学名：テキサス大学オースティン校

所在地：アメリカ合衆国テキサス州

指導教員：Joel Johnson 准教授

5. 共同研究の内容

5.1 方法

本研究では、物理モデルに気候予測データをインプットすることで、気候変動前後の凍結融解の強度を計算し、その結果の分析を行った。

対象としたのは、派遣前から地温や侵食深等の計測を行っていた北海道ペケレベツ川流域の斜面である。主に花崗岩で形成され、周氷河堆積物と呼ばれる凍結融解により土砂化した層も分布している。標高は 497m、斜面方位は南東方向、斜面勾配は 40 度から 90 度である。

計算に用いたモデルは熱伝導方程式、水と氷の質量保存則、地温と含水率の関係式の三つを基礎的に地表面における熱収支式を組み合わせることで、地中の温度と含水率の深度分布を計算する。また、積雪深が大きいと気温や日射が地中に伝わりづらくなり、地温が 0°C で安定する。本モデルでは積雪深が 20cm を上回ると気温や日射のような外部の条件が地中に伝わらないと仮定している。本モデルから計算される含水率が 0 から初期含水率である 0.3 に達したとき、つまり地中の水分が完全に水の状態から完全に氷の状態になったときに凍結融解が一回起きたとしている。本研究では、凍結融解の変化を評価するため凍結融解強度指数を用いている。花崗岩は凍結融解の回数がある閾値を上回ると土砂化すると言われている。また、地表面は外部の気温や日射が伝わりやすいため凍結融解が起きやすく、深部ほど起きづらい。凍結融解強度指数は、計算期間中の凍結融解回数とそれが起きた深さをかけた値を合計した値であり、凍結融解回数が多いほど、より深部で発生しているほど大きい値となる。

気候変動予測データとして用いた d4PDF には、観測された海面水温から計算された現在気候と産業革命後から 4°C世界の平均気温が上昇した世界をシミュレーションした将来気候がある。解像度は 5km であり、ペケレベツ川流域を含む東西方向 4 メッシュそれぞれで予測を行った (図-1)。入力したのは、気温、日射量、積雪深、風速、湿度のデータであり、気温、積雪深、日射量の 200 年分の平均値を図-2 に示す。積雪深のグラフにある点線は積雪深 20cm を表し定している。計算期間は 10 月 1 日から 5 月 31 日までであり、各メッシュで現在気候と将来気候それぞれ 200 年 (200 パターン) の計算を行った。また、積雪の影響を調べるため、積雪深が 0 の条件でも同様に予測を行った。

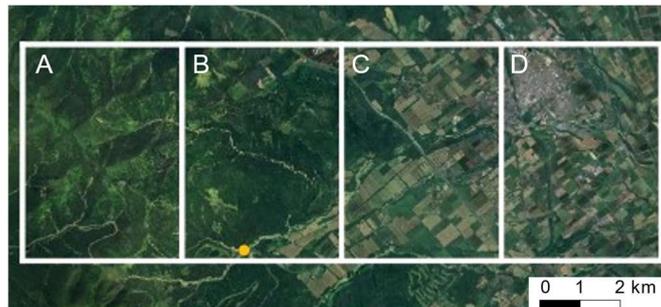


図-1 d4PDF メッシュ位置図

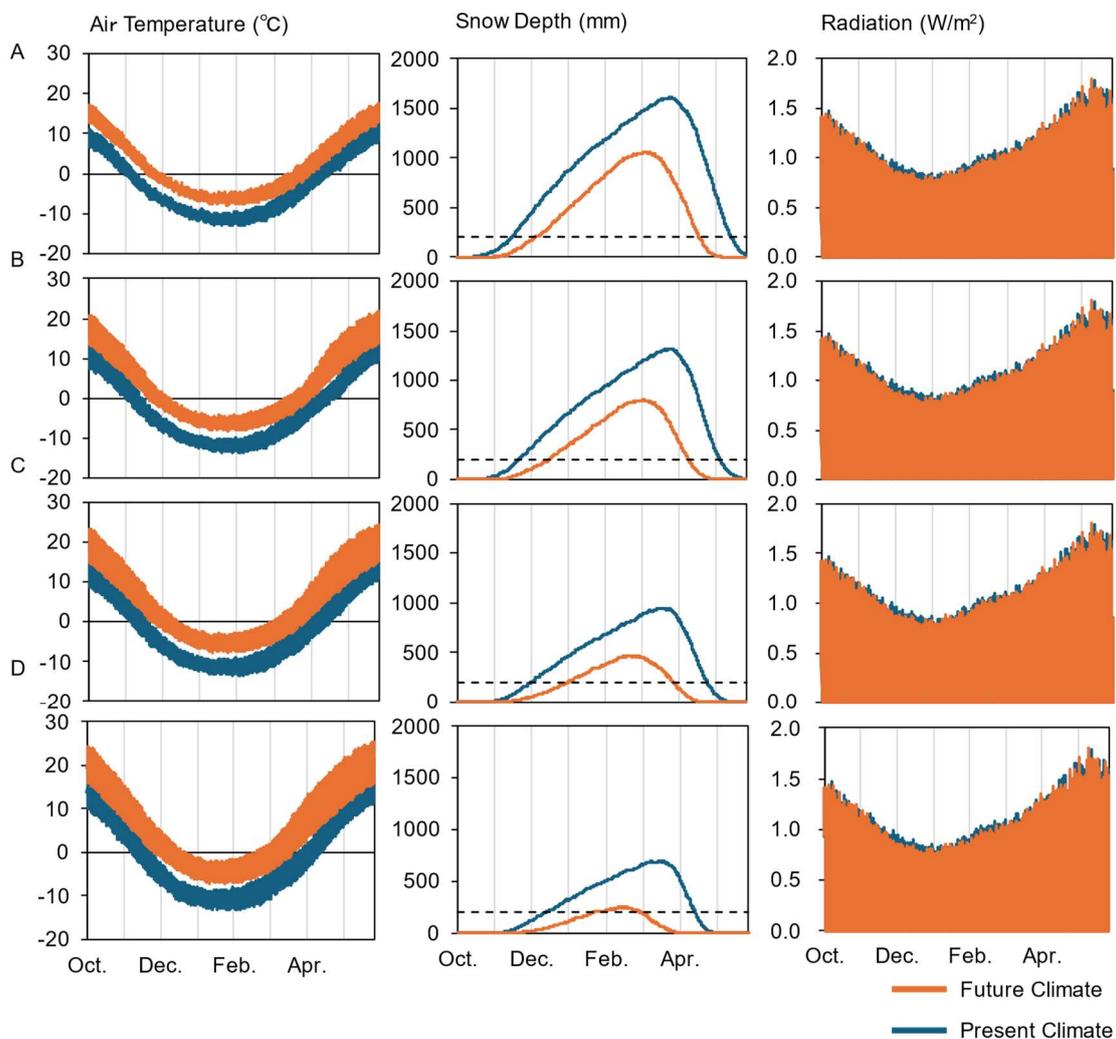


図-2 d4PDF(気温, 積雪深, 日射量)の平均値

5.2 結果

図-3に各メッシュの現在気候と将来気候の凍結融解強度指数の確率年を示す。積雪なしのケースではいずれのメッシュでも凍結融解は減少しているのに対し、積雪ありのケースではA,B,Cメッシュでは変化がないが、Dメッシュでは大きく増加していることが分かる。これらの理由について以下で考察を行う。

図-4に積雪なし条件と積雪あり条件それぞれの累積凍結融解強度指数を示す。この傾きが急であるほど凍結融解が活発に起きていることを示す。まず、積雪なし条件の方が、凍結融解強度指数が大きいことが分かる。また、積雪ありの条件でも、積雪深が20cmを下回っているDメッシュの将来気候のみ凍結融解強度指数が大きい。これは、積雪の保温効果（地温を0°Cで安定させる効果）により、地温の変動が抑制されたためである。現地観測でも、積雪が多かった部分の侵食深の方がかなり大きくなっており、積雪がないと凍結融解が急激に進行する。積雪ありのDメッシュにおいて、現在気候では積雪深が20cmを上回っていたが将来気候ではそれが下回っている。つまりDメッシュでは、気候変動によって積雪の保温効果がなくなることで、凍結融解が起きやすくなり、大きく増加すると考えられる。

次に、凍結融解が活発に起きている時期が冬に近づいていることが分かる（秋：11月→12月、春：4月→3月）。これは、気温が上昇することで、凍結融解が活発に起きる気温が0°C程度となる時期が冬に近づくためである。図-5に含氷率の深度分布の日変化を示す。現在気候は11月20日、将来気候は12月20日の200年分の含氷率を平均している。これらの日は図-4の点線と実線で示しており、いずれのメッシュでも凍結融解が活発に起きている日の代表として選択した。縦軸は地表面からの深さであり、上辺が地表面である。横軸は時間を示し、午前0時から昼12時、24時までの1日を示す。黄色が含氷率0（地中水分が全て水の状態）、紺色が含氷率0.3（地中水分率が全て氷の状態）を表す。現在気候の11月20日の日平均気温と将来気候は12月20日の日平均気温はほぼ同じであった。しかし、積雪なしのいずれのメッシュでも、特に日中において現在気候の含氷率の方が低くなっており、含氷率の日変動が大きくなっている。この要因は日射量であると考えられる。図-2からも分かる通り、11月の日射量は12月の日射量に比べて高い。気温上昇により凍結融解が日射量の少ない時期にずれると、含氷率の日変動が小さくなり凍結融解が減少する。そのため、気温上昇の影響を受ける積雪なし条件において、凍結融解は減少すると考えられる。

次に図-4の積雪ありの結果を見ると、将来気候の方が凍結融解の進行が遅いが、凍結融解が活発に起きている期間が長いことが分かる。進行が遅いのは上述の通り、凍結融解が起きる時期が日射量の少ない時期に移るためである。期間が長いのは、将来気候の積雪の方が少なく、積雪による凍結融解の抑制効果が現れるのが遅いためである。つまり、積雪ありのA,B,Cメッシュでは凍結融解の進行速度は落ちるが期間が長くなるため、気候変動前後での変化が小さいと考えられる。

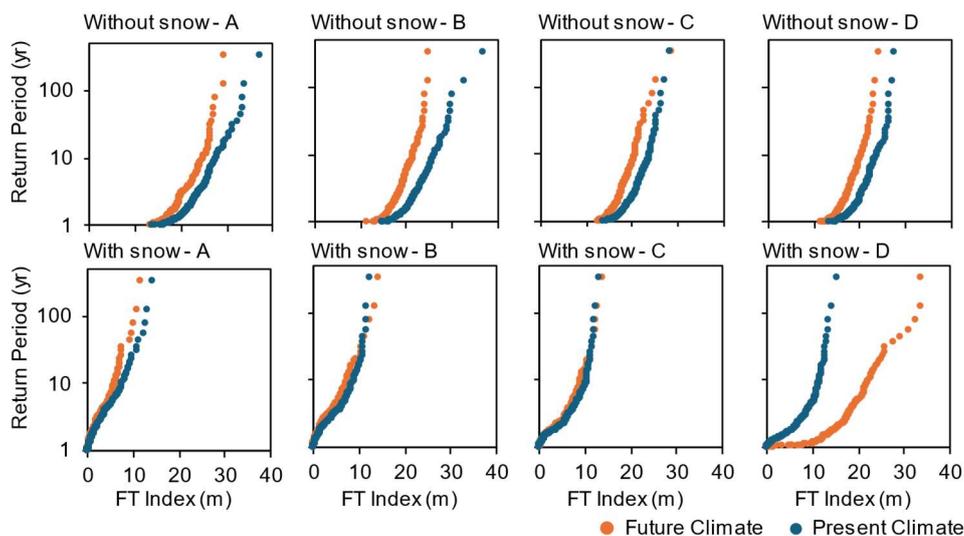


図-2 d4PDF(気温, 積雪深, 日射量)の平均値

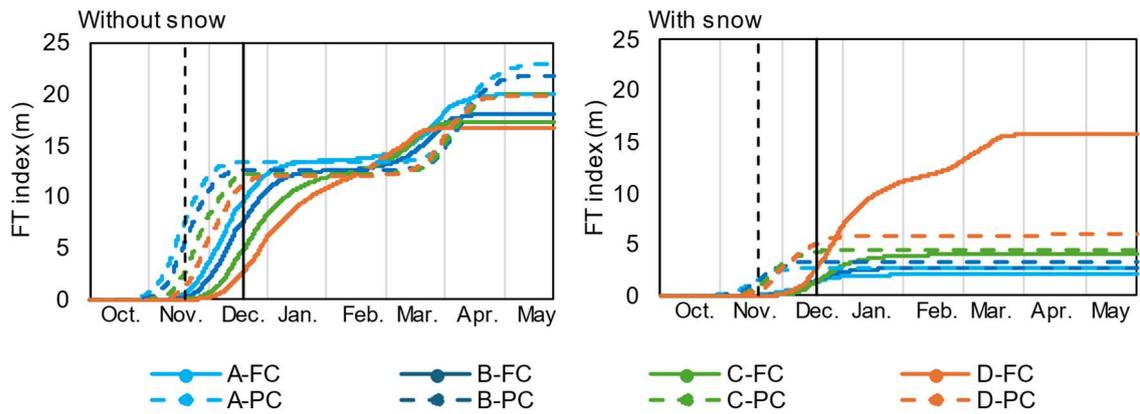


図-4 凍結融解強度指数の変化

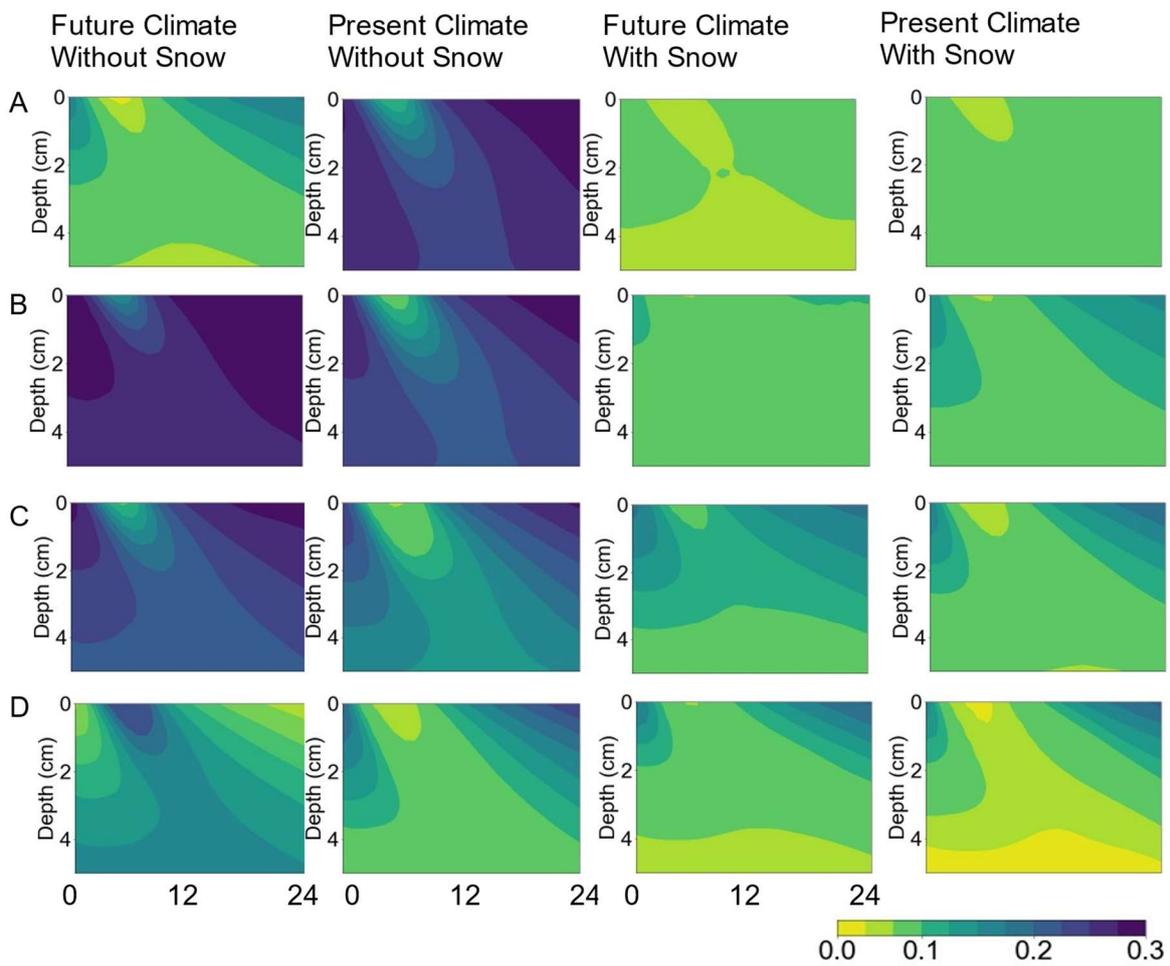


図-5 含氷率の日変化

6. まとめ

凍結融解の変化について主に以下の三つが明らかとなった。

1. 積雪の保温効果が減少する場合、凍結融解は大きく増加する。
 2. 気温の上昇の影響を受ける場合、日射量の少ない時期に凍結融解が起きるようになるため、凍結融解は少し減少する。
 3. 気温上昇と積雪減少の両方の影響を同程度受ける場合、凍結融解の変化は小さい。
- 以上のように、凍結融解は気温上昇と積雪減少の両方の影響を受ける。これらの影響の強さのバランスによって増加する場合もあれば、減少する場合もある。

7. 謝辞

留学期間中、本研究についてご指導してくださったテキサス大学オースティン校の Joel Johnson 先生、井上先生をはじめ、同じゼミに参加させていただいた他研究室の先生方、学生 みなさんに厚くお礼申し上げます。さらに、このような貴重な経験のためにサポートいただいた海外共同研究プログラムの先生方及び国際事業担当の皆様にも心から御礼申し上げます。
